

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-90382

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 R 33/02

G 0 1 R 33/02

D

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/08

H 0 1 F 10/08

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平8-246727

(22) 出願日

平成8年(1996) 9月18日

(71) 出願人 000134257

株式会社トーキン

宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号

(71) 出願人 591131925

荒井 賢一

宮城県仙台市泉区山の寺2丁目28番9号

(72) 発明者 磯村 明宏

宮城県仙台市太白区郡山六丁目7番1号

株式会社トーキン内

(72) 発明者 荒井 賢一

宮城県仙台市泉区山の寺二丁目28番9号

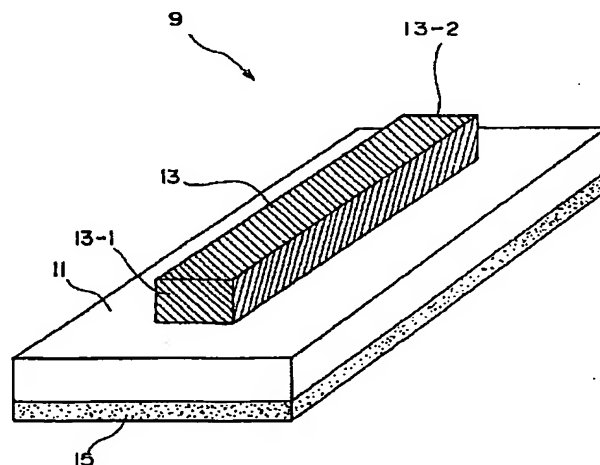
(74) 代理人 弁理士 後藤 洋介 (外2名)

(54) 【発明の名称】 磁気検出素子

(57) 【要約】

【課題】 検出磁界感度を期待できるだけでなく、相対的に外部磁界の変化に対するインピーダンス変化分が小さくて、動作を安定にすることである。

【解決手段】 浮遊容量を積極的に持たせるため接地導体層11に絶縁層13を積層してこの絶縁層13の上面に線状軟磁性薄膜15を積層する。接地導体層11の一端辺および他端辺の近傍に電流を流すための入出力端15-1および15-2を備える。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 予め定められた方向に沿って上・下両面を持つ誘電体板状部材と、この誘電体板状部材の上面の一部に所定の幅を持って前記予め定められた方向に伸びるように積層され両端が電流を流すための入・出力端である軟磁性薄膜とを備え、この軟磁性薄膜の入・出力両端間に電流を流す一方、前記軟磁性薄膜が前記予め定められた方向に交差する方向の外部磁界を受けたときに生じるインピーダンスの変化を検出する磁気検出素子であって、前記誘電体板状部材の下面に接地導体層を更に積層したことを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 請求項1に記載の磁気検出素子であって、前記接地導体層がCu、Ag、Au、Al、またはこれらの少なくとも一種を主成分とする合金を含むことを特徴とする磁気検出素子。

【請求項3】 Cu、Ag、Au、Al、またはこれらのうち少なくとも一種を主成分とする合金を含む所定の幅を持って予め定められた方向に伸びる第1の導体層と、前記予め定められた方向に沿ってこの第1の導体層の外周を覆うSiO₂、Si₃N₄、AlNのうち少なくとも一種を含む絶縁層と、前記予め定められた方向に沿ってこの絶縁層を覆う軟磁性薄膜と、この軟磁性薄膜の一部の面に積層されるものであって主面を持つ誘電体板状部材を備え、該誘電体板状部材の主面に接地導体層を更に積層したことを特徴とする磁気検出素子。

【請求項4】 請求項3に記載の磁気検出素子において、前記軟磁性薄膜の代わりに絶縁層を間に挟んで軟磁性薄膜を積層する構造を有することを特徴とする磁気検出素子。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれかに記載の磁気検出素子において、前記軟磁性薄膜の入・出力両端間に電流を流す一方、前記軟磁性薄膜が前記予め定められた方向に交差する方向の外部磁界を受けたときに、RLC共振等価回路の共振点近傍でインピーダンス変化率を増大させて、前記外部磁界の磁気検出をすることを特徴とする磁気検出回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は外部磁気に応じたインピーダンスを呈する磁気検出素子に関するもので、特に各種磁気ヘッド、磁気センサーとして有用な磁気検出素子およびこれを用いた磁気検出回路に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、電子機器の小型・高性能化が急速に進み、特にコンピューター関連機器ではハードディスクの小型・大容量化に伴って従来の磁束密度の変化を用いたヘッドに代わり、磁気抵抗効果を利用したヘッド（MRヘッド）が読みとり使用されつつある。しかし、さらなる記録密度の増大にはこのMRヘッドでも十分ではなく、外部磁界の変化に対してさらに電気特性の

変化の大きいヘッド用の素子が望まれている。

【0003】また、地磁気の測定、脳内磁界の測定等、微小磁界の測定・検出を行なう場合にもMRヘッドでは十分ではない。

【0004】このような点に鑑みて、軟磁性線に高周波電流を通電し、外部磁界の変動に応じた軟磁性線の抵抗、及びインダクタンスの変化、すなわちインピーダンスの変化として捕らえる磁気検出素子（「磁気インピーダンス素子」ともいわれる。）が提案されている（特開平6-176930、特開平7-248365、電気学会論文誌E116巻1号p7（1996）など）。このような磁気検出素子は、外部磁界の変化に伴うインピーダンスの変化が大きく、センサー、ヘッドとして優れた特徴を持っているが、磁界変化に伴うインピーダンスの変化率（すなわち検出磁界感度）は10%/Oe程度にとどまり、微細加工を行うには量産性に欠けるという欠点がある。

【0005】このような欠点を改善するために、トランジスタと軟磁性線を組み合わせて発振回路を構成し、LC共振を利用することによって検出感度を向上させようとするのが提案されている（日本応用磁気学会誌、第19巻、469（1995）など）。しかし、この提案による磁気検出素子は、能動部品を必要とするばかりでなく、いくつかの抵抗器、コンデンサー、ダイオードなどを必要とする。したがって、素子自体のコストアップは避けられないという欠点がある。

【0006】他方で、アモルファス金属磁性単層膜を磁気検出素子として用いることが検討されている（内山他、電気学会論文誌、115-A、949（1995））。このような磁気検出素子では、磁性膜に直接通電を行うことにより外部磁界によりインピーダンスが変化する小型の磁気センサを実現できる。しかしながらアモルファス金属磁性膜はCu、Al、Agなど、導体線路として一般に用いられる金属に比べ、電気抵抗が大きいため、励磁が効率よく行えず、かつインピーダンス変化率が小さくなるという欠点を有しており、磁界感度は8%/Oeにとどまっている。しかもこの小型の磁気センサにおいてはコルピッツ型発振回路を併用したものが提案されているが部品点数が大きいという欠点に加え、磁界感度も248%/Oeにとどまり期待する程得られない。

【0007】また、Cu膜を内包したストライプ状のパーマロイスパッタ膜を磁気インピーダンス素子として用いることが提案されている（千田他、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-95-126、91（1995）。さらに、一軸異方性を付与されたCoSiB膜の間にCu導電体層を挟んだ構造の磁気検出素子も提案されている（森川他、日本応用磁気学会誌、20、553（1996））。これらの磁気検出素子では、そのインピーダンスの変化率が-50～+120%程度を呈

するようなす外部印加磁界の変化範囲があるが、磁界感度は $-5 \sim +10\% / Oe$ 程度に留まり、また、磁気異方性を制御しにくいという欠点がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】すなわち、軟磁性薄膜を用いた磁気検出素子では、検出磁界感度が期待できないという欠点がある。

【0009】上に述べた磁気検出素子の等価回路は図1のような2端子回路となり、もっぱら磁界の変化分を $Z = R + j\omega L$ (ω は素子に流す交流電流の角周波数)の形のインピーダンスの変化として検出している。このような磁気検出素子では数MHz程度の周波数帯域においては比透磁率がほとんど1に近いので、外部磁界に対するインダクタンス分 L の変化は小さい。しかし、外部磁界が異方性磁界の大きさと同じになると比透磁率が最大をとるという性質を利用して、外部磁界の変化に対するインピーダンス変化分を大きくできる。ところが、数10～数100MHz程度の周波数帯域では表皮効果の影響、及び渦電流損失の増大のために、素子自体のインピーダンスが増大し、相対的に外部磁界の変化に対するインピーダンス変化分が小さくなるという欠点がある。

【0010】さらに、従来提案されてきた上記の軟磁性線、または軟磁性薄膜を用いた磁気検出素子では接地導体を持たないため、素子周辺に存在する他の回路要素や配線等との間に種々の浮遊容量(図12(b))が発生する。この浮遊容量は値を予測できず、素子自体のインピーダンス変化を積極的に利用できない。このために動作が不安定になりがちであるという欠点がある。

【0011】さらには通電電流により発生する電界が、素子外部に存在する導体、あるいは誘電体のために乱されやすく、動作が不安定になりがちであるという欠点がある。

【0012】そこで、本発明の技術的課題は、検出磁界感度を期待できるだけでなく、相対的に外部磁界の変化に対するインピーダンス変化分が小さくて、動作を安定にすることができる磁気検出素子を得ることである。

*【0013】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、予め定められた方向に沿って上・下両面を持つ誘電体板状部材と、この誘電体板状部材の上面の一部に所定の幅を持って前記予め定められた方向に伸びるように積層され両端が電流を流すための入・出力端である軟磁性薄膜とを備え、この軟磁性薄膜の入・出力両端間に電流を流す一方、前記軟磁性薄膜が前記予め定められた方向に交差する方向の外部磁界を受けたときに生じるインピーダンスの変化を検出する磁気検出素子であって、前記誘電体板状部材の下面に接地導体層を更に積層したことを特徴とする磁気検出素子が得られる。

【0014】

【発明の実施の形態】図1を参照して、本発明の実施の形態による磁気検出素子9は、予め定められた方向に沿って上下両面を持つ誘電体板状部材(ガラス基板)11と、この誘電体板状部材11の上面の一部に所定の幅を持って前記予め定められた方向に伸びるように積層され両端が電流を流すための入出力端13-1および13-2である線状軟磁性薄膜13とを備える。この線状軟磁性薄膜13の入出力端13-1および13-2間に電流を流す。一方、線状軟磁性薄膜13が予め定められた方向に交差する方向の磁界を受けたときに生じる電流の変化をインピーダンスの変化として検出するものである。磁気検出素子9は、誘電体板状部材13の下面に接地導体層15を積層することにより、容量を積極的に構成したものである。

【0015】この線状軟磁性薄膜13は、入出力端13-1および13-2を備え、2端子素子を構成する。この2端子素子は、図2に示すような等価回路をもっている。図2で、Cは接地導体層13と線状軟磁性薄膜13との間に積極的に構成した容量分である。この等価回路の抵抗R、リアクタンスX、およびインピーダンスZは、それぞれ、下記数1中の式(1)～(3)のように表され、

*【数1】

$$R = \frac{R_0}{2} + \frac{2R_0}{\omega^4 L_0^2 C^2 + \omega^2 (R_0^2 C^2 - 4L_0 C) + 4} \quad (1)$$

$$X = \frac{\omega L_0}{2} + \frac{\omega (2L_0 - R_0^2 C - \omega^2 L_0^2 C)}{\omega^4 L_0^2 C^2 + \omega^2 (R_0^2 C^2 - 4L_0 C) + 4} \quad (2)$$

$$Z = R + j\omega X \quad (3)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{L_0 C}} \quad (4)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}} \quad (5)$$

式(4)のような共振周波数をもつ。

【0016】図11、あるいは図2のような等価回路を

もつ素子では、素子のインピーダンスが外部磁界の変化により変化するが、図2のような等価回路をもつ素子で

は共振周波数近傍でインピーダンスが急激に変化することから、共振周波数近傍でインピーダンスの変化を観測することによって共振周波数よりもはるかに低周波側での観測よりも大きな出力変化が得ることができる。

【0017】さらに、この実施の形態の素子は、積極的に構成した容量分Cを持つので、接地導体2をもたない従来の検出素子よりも動作を安定化させることができる。従って、前記した従来の磁気検出素子のLC共振による共振周波数より低い周波数帯域で動作させた場合について安定に磁界検出を行わせることが可能である。

【0018】図7および図8を参照して、評価試験用測定系のA1製治具容器内に試作した各素子を配し、ネットワークアナライザ(Net Work Analyser H P社 8752A)のSMA雄コネクタとA1製治具容器のSMA雌コネクタ同士を接続して、インピーダンス測定を行った結果を以下述べる。

【0019】(実施例1)高周波マグネトロンスパッタリングにより図1に示す構造の磁気検出素子9の製造方法を説明する。

【0020】(1)厚さ200 μ m、幅10mm、長さ20mmのガラス基板11を準備する。

【0021】(2)ガラス基板11の上面の一部に厚さ4 μ m、幅4mm、長さ14mmのCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜13を積層する。

【0022】(3)ガラス基板11の下面に厚さ1 μ m、幅10mm、長さ20mmのCuからなる接地導体層15を積層する。

【0023】なお、線状軟磁性薄膜13の組成は、EPMAにより、83.7at%Co-2.8at%Zr-13.5at%Nbであった。

【0024】この磁気検出素子9を5.0 $\times 10^{-5}$ Torr以下、Hex=500Oeの真空・回転磁界中で400℃、2時間熱加熱し、製膜中に導入された異方性を緩和した後、同条件の真空・静磁界中で熱処理し、磁気検出素子の幅方向一軸方向磁気異方性を導入した。次いで、この磁気検出素子9に40MHzの通電電流を流したところ、図8に示すようなインピーダンスのバイアス磁界依存性を示した。インピーダンス変化率は、188%/7.6Oe、平均の磁界感度は、24.7%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=7Oeのときに、65.8%/Oeが得られた。

【0025】(比較例1)比較例1の素子として、ガラス基板11の下面に接地導体層15を持たないものを試作した。ガラス基板11の上面にCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜13を製膜する工程は、実施例1の磁気検出素子9の製造時と同時に行った。また、線状軟磁性薄膜13の製膜後、実施例1の磁気検出素子9の製造時と同時に熱処理を行った。線状軟磁性薄膜13の組成は、EPMAにより、83.6at%Co-2.7at%Zr-13.7at%Nbであった。この比較例1

の素子に40MHzの通電電流を流したところ、図9に示すようなインピーダンスのバイアス磁界依存性を示した。インピーダンス変化率は、37%/8.6Oe、平均の磁界感度は、4.3%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=70Oeのときに、9.5%/Oeが得られた。

【0026】(実施例2)マグネトロンスパッタリングにより図3に示す構造の磁気検出素子17を参考にし、実施例1と異なる点を詳細に説明する。

【0027】(1)厚さ200 μ m、幅10mm、長さ20mmのガラス基板11を準備する。

【0028】(2)ガラス基板11の上面の一部に厚さ4 μ m、幅4mm、長さ14mmのCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜13の下部分を積層する。

【0029】(3)線状軟磁性薄膜13の下部分の中央線上に厚さ1 μ m、幅2mm、長さ20mmのCu膜19を製膜する。

【0030】(4)線状軟磁性薄膜13の下部分およびCu膜19の上面の一部に最大の厚さ4 μ m、幅4mm、長さ14mmのCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜13の上部分を積層する。

【0031】(5)最後に、ガラス基板11の下面に厚さ1 μ m、幅10mm、長さ20mmのCuからなる接地導体層15を積層する。

【0032】なお、線状軟磁性薄膜13の組成は、EPMAにより、83.4at%Co-3.0at%Zr-13.6at%Nbであった。

【0033】この磁気検出素子17を実施例1と同様の方法で、磁気検出素子の幅方向一軸方向磁気異方性を導入した。次いで、この磁気検出素子17に80MHzの通電電流を流したところ、インピーダンス変化率は、85%/8.1Oe、平均の磁界感度は、10.7%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=7Oeのときに、25.1%/Oeが得られた。

【0034】(比較例2)比較例2の素子として、ガラス基板11の下面の接地導体層15を省き、それ以外は実施例2と全く同じものを試作した。ガラス基板11の上面にCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜13およびCu膜19のみを製膜したものを得た。

【0035】また、実施例2の磁気検出素子17と同じ条件で熱処理し、磁気異方性を付与した後、80MHzの通電電流を流したときのインピーダンスの磁界依存性を測定した。インピーダンス変化率は、50%/9Oe、平均の磁界感度は、約6%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=7Oeのときに、12.3%/Oeが得られた。

【0036】(実施例3)マグネトロンスパッタリングにより図4および図5に示す構造の磁気検出素子21の製造方法を説明する。

【0037】(1)厚さ200 μ m、幅10mm、長さ2

0mmのガラス基板11を準備する。

【0038】(2) ガラス基板11の上面の一部に厚さ4 μ m、幅4mm、長さ14mmのCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜23-1を積層する。

【0039】(3) 線状軟磁性薄膜23-1上に厚さ0.5 μ m、幅3mm、長さ18mmのSiO₂膜31を形成する。

【0040】(4) SiO₂膜31上に厚さ1 μ m、幅2mm、長さ20mmのCu膜19を製膜する。

【0041】(5) SiO₂膜31およびCu膜19の上に厚さ0.5 μ m、幅3mm、長さ18mmのSiO₂膜32を形成する。

【0042】(6) 線状軟磁性薄膜23-1およびSiO₂膜32の上に厚さ4 μ m、幅4mm、長さ14mmの線状軟磁性薄膜23-2を形成する。

【0043】(7) 最後に、ガラス基板11の下面に厚さ1 μ m、幅10mm、長さ20mmのCuからなる接地導体層15を積層する。

【0044】なお、線状軟磁性薄膜23-1、23-2の組成は、EPMAにより、84.1at%Co-2.7at%Zr-13.2at%Nbであった。

【0045】この磁気検出素子21を実施例1と同様の方法で、磁気検出素子の幅方向一軸方向磁気異方性を導入した。次いで、この磁気検出素子21に120MHzの通電電流を流したところ、インピーダンス変化率は、35%/8.00e、平均の磁界感度は、43.8%/Oeであった。Hex=7Oeのときに、磁界に対するインピーダンスの変化を表す曲線は最大の傾きを示し、205%/Oeが得られた。

【0046】(比較例3) 比較例3の素子として、図4および図5の構造でガラス基板11の下面の接地導体層15を省き、それ以外は実施例3と全く同じものを試作した。また、実施例3の磁気検出素子21と同じ条件で熱処理し、磁気異方性を付与した後、120MHzの通電電流を流したときのインピーダンスのバイアス磁界依存性を測定した。インピーダンス変化率は、120%/8.20e、平均の磁界感度は、約14.6%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=7Oeのときに、23%/Oeが得られた。

【0047】(実施例4) 図4および図5に示す構造の磁気検出素子21であって、AlN中間層で4層積層構造を持つもの(図6)を説明する。

【0048】(1) 厚さ200 μ m、幅10mm、長さ20mmのガラス基板11を準備する。

【0049】(2) ガラス基板11の上面の一部に厚さ1 μ m、幅4mm、長さ14mmのCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜35-1を積層する。

【0050】(3) 線状軟磁性薄膜35-1上に厚さ0.1 μ m、幅4mm、長さ18mmのAlN膜33を形成する。

【0051】(4) 上記②および③の工程を繰り返し、4層のCo-Nb-Zr35-1、35-2、35-3、35-4、および3層のAlN膜33を形成する。

【0052】(5) Co-Nb-Zr35-1、35-2、35-3、35-4および3層のAlN膜33の上方側面上に厚さ0.5 μ m、幅3mm、長さ18mmのAlN膜31を製膜する。

【0053】(6) AlN膜31の上に厚さ1 μ m、幅2mm、長さ20mmのCu膜19を形成する。

【0054】(7) AlN膜31およびCu膜19の上に厚さ0.5 μ m、幅3mm、長さ18mmのAlN膜32を形成する。

【0055】(8) AlN膜32の上に厚さ1 μ m、幅2mm、長さ20mmのCu膜19を形成する(図6には以下の形成層は簡略のため示していない。)

【0056】(9) AlN膜32およびCu膜19の上に厚さ0.5 μ m、幅3mm、長さ18mmのAlN膜を形成する。

【0057】(10) 上記⑨のAlN膜および②~④で得たCo-Nb-Zr35-1、35-2、35-3、35-4積層膜の上に別の4層のCo-Nb-Zr膜と3層のAlN膜を形成する。

【0058】最後に、ガラス基板11の下面に厚さ1 μ m、幅10mm、長さ20mmのCuからなる接地導体層15を積層する。

【0059】なお、線状軟磁性薄膜35-1、35-2、35-3、35-4積層膜の組成は、EPMAにより、83.5at%Co-3.1at%Zr-13.4at%Nbであった。

【0060】この磁気検出素子21を実施例1と同様の方法で、磁気検出素子の幅方向一軸方向磁気異方性を導入した。次いで、この磁気検出素子21に120MHzの通電電流を流したところ、インピーダンス変化率は、212%/8.00e、平均の磁界感度は、26.5%/Oeであった。Hex=7Oeのときに、最大磁性感度は、128%/Oeが得られた。

【0061】(比較例4) 比較例4の素子として、図4~図6の構造でガラス基板11の下面の接地導体層15を省き、それ以外は実施例3と全く同じものを試作した。また、実施例3の磁気検出素子21と同じ条件で熱処理し、磁気異方性を付与した後、120MHzの通電電流を流したときのインピーダンスのバイアス磁界依存性を測定した。インピーダンス変化率は、83%/8.50e、平均の磁界感度は、約9.8%/Oeであった。最大磁界感度は、Hex=7Oeのときに、22.5%/Oeが得られた。

【0062】(実施例5) 図4および図5に示す構造の実施例3のCo-Nb-Zrからなる線状軟磁性薄膜35-1の代わりにパーマロイを用いた磁気検出素子21を説明する。

【0063】この磁気検出素子21は真空中 5.0×10^{-6} Torr以下、 $H_{ex} = 500$ Oeの真空・静磁界中で 500°C 、2時間熱加熱し、素子の幅方向一軸磁気異方性を導入した。その後、 40MHz の通電電流を流したところ、図8に示すようなインピーダンス、インダクタンス、抵抗の磁界依存性を示した。このときのインピーダンス変化率は、 $72\%/400$ Oe、平均の磁界感度は、 $18.0\%/Oe$ であった。最大磁界感度は、 $H_{ex} = 2.50$ Oeのときに、 $43\%/Oe$ が得られた。

【0064】(比較例5) 比較例5の素子として、実施例5に記載の磁気検出素子21で接地導体層15を省いたものを試作した。また、実施例5と同様、 40MHz の通電電流を流したときのインピーダンス磁界依存性を測定した。インピーダンス変化率は、 $35\%/4.10$ Oe、平均の磁界感度は、約 $8.5\%/Oe$ であった。最大磁界感度は、 $H_{ex} = 2.50$ Oeのときに、 $16\%/Oe$ が得られた。

【0065】(本発明の実施例の効果) 以上、説明したように、軟磁性薄膜を用いた外部磁界変化をインピーダンス変化として検出する本発明の実施例の磁気検出素子では、容量を積極的に持たせるように接地導体層(接地電極)を形成したので、動作が安定すること、図2の等価回路を持たしてLC共振に伴うインピーダンスの急激な変化を利用できることの2つ利点があり、上述した従来の欠点を容易に解消できる。

【0066】接地導体層(接地電極)の厚みを制御すれば、図2の等価回路のCの値を設計段階で、ある値に設定できるという効果もある。ここで図示された R_0 、ならびに L_0 の値は外部磁界によって変化する。すなわち、磁気検出素子に電流を通電することで導体の回りに周回磁界が発生する。外部バイアス磁界が0の場合は磁性体は容易軸方向に励磁され、磁壁移動による磁化過程を辿るため、磁性体の比誘電率は上昇し、 $H_{ex} = H_k$ (H_k は異方性磁界である)で最大値を取る。更に、 $H_{ex} > H_k$ では外部バイアス方向に磁化が固定されるため比誘電率は減少する。このため、インダクタンス L_0 は H_k 付近で最大値を取る。

【0067】抵抗 R_0 は、数MHz帯域ではほぼ導体の直流抵抗で決まる値であるが、数 10MHz 以上の帯域では、渦電流損失、表皮効果の影響により増大する。これらの影響のうち表皮効果は数式(5)で表される値 δ で決まる値である。なお、数式(5)で ρ は抵抗率、 f は周波数、 μ は透磁率である。式(5)により、表皮効果が膜厚に対して無視できなくなる高周波では透磁率が外部磁界により増大すると、表皮深さが小さくなり電気抵抗は増大する。このため表皮深さを考慮しなければならないような高周波域では電気抵抗も外部磁界に対して変化する。以上が、容量分を考慮しない場合の磁界の変化に伴うインピーダンス変化である。

【0068】これに対し、本発明の実施例の磁気検出素子では、容量分を考慮しない場合の磁界の変化に伴うインピーダンス変化に、接地導体層を形成して積極的に構成したLC共振等価回路の共振周波数近傍のインピーダンス変化を組み合わせたので、電界は電流が流れる導体と接地導体との間に集中し、外乱の影響を受けにくくなる。

【0069】また、図2の等価回路を持たしてLC共振に伴うインピーダンスの急激な変化を利用できる。すな

わち、式(1)～(3)のインピーダンスを持つ回路で、 $R = 3\Omega$ 、 $C = 200\text{pF}$ で一定としたときにLの値を様々変えた場合のインピーダンスを求めると図10に示すような計算値が得られる。既に述べた様に、本発明の実施例の磁気検出素子では、外部磁界によって磁性層の透磁率が変動するので、図10に示したLの変動は実際には外部磁界によってなされる。例えば、通電電流が 70MHz であったとき、外部磁界の印加によって透磁率が増加し、Lが 20nH から 50nH になったとすれば回路のインピーダンスは 12Ω から 80Ω に変化し、 600% 以上の変化率を示すことがわかる。実際には、表皮効果の影響のために電気抵抗が周波数により変動するのでそれほど単純ではないが、図11に示された実施例3の磁気検出素子のインピーダンスの周波数依存性から明かなように、実際値でもインピーダンスの周波数依存性の傾向は、概ね図10に示したものと同一である。図11で、実施例の磁気検出素子に磁界を印加したときにインピーダンスが変化することにより磁気検出素子の共振周波数が変化することから、通電する電流の周波数を最適化すれば、外部磁界の変動を非常に大きなインピーダンス変化率として検出できる。

【0070】尚、実施例3および4ではアモルファスCo-Nb-Zr、実施例5ではパーマロイを用いたが軟磁性効果に優れた材料であれば良い。Cu膜の導体としては、Al、Ag、Auなど一般に低抵抗の電極金属であれば良く、絶縁膜としては SiO_2 、AlN以外にも Al_2O_3 、 Si_3O_4 などの絶縁性に優れた化合物であれば有効である。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の磁気検出素子では、容量を積極的に持たせるように接地導体層を形成したので、検出磁界感度を期待できるだけでなく、相対的に外部磁界の変化に対するインピーダンス変化分が小さく動作の安定した容量を積極的に持たせた磁気検出素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態による磁気検出素子の斜視図で、実施例1の磁気検出素子9の斜視図である。

【図2】図1の等価回路図である。

【図3】実施例2の磁気検出素子17の斜視図である。

【図4】実施例3の磁気検出素子21の斜視図である。

11

【図5】図4の断面図である。

【図6】図5の軟磁性薄膜23-1の代わりに絶縁層33と軟磁性薄膜35-1、35-2、35-3、35-4との積層構造に置き換えた実施例4の磁気検出素子21の部分断面図である。

【図7】ネットワークアナライザ (Net Work Analyser HP社 8752A) による評価試験用測定系を示す図である。

【図8】図7のインピーダンス測定回路を示す図である。

【図9】インピーダンスZ、抵抗R、インダクタンスLのバイアス磁界依存性を示す図である。

【図10】実施例1に係る図2の等価回路の L_0 が種々の値をとるときのインピーダンスの周波数依存性を示す図である。

【図11】実施例3のインピーダンスZ、抵抗R、インダクタンスLの周波数依存性を示す図である。

【図12】(a) 従来の磁気インピーダンス型検出素子の等価回路図で、浮遊容量を無視できる場合のものである。

(7)

12

る。(b) 従来の磁気インピーダンス型検出素子の等価回路図で、浮遊容量を無視できない場合のものである。

【符号の説明】

9 実施例1の磁気検出素子

11 誘電体板状部材 (ガラス基板)

13 線状軟磁性薄膜

13-1、13-2 入出力端

15 接地導体層

17 実施例2の磁気検出素子

10 19 Cu膜

21 実施例3～5の磁気検出素子

23-1、23-2 線状軟磁性薄膜

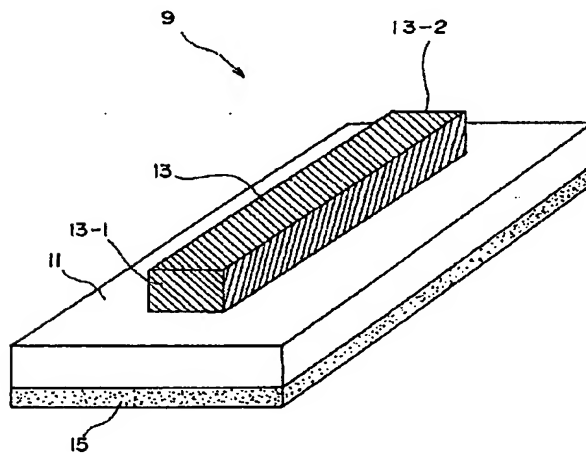
31 絶縁膜 (実施例3では SiO_2 膜、実施例4ではAlN膜)

32 絶縁膜 (実施例3では SiO_2 膜、実施例4ではAlN膜)

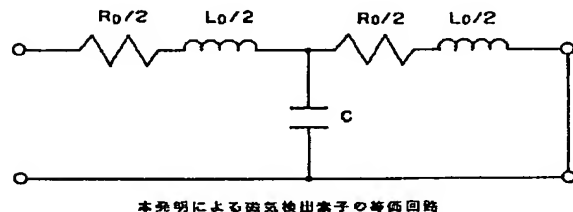
33 AlN膜

35-1、35-2、35-3、35-4 軟磁性薄膜

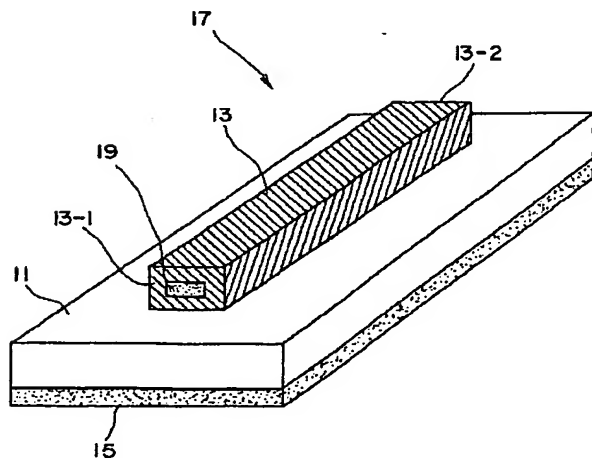
【図1】



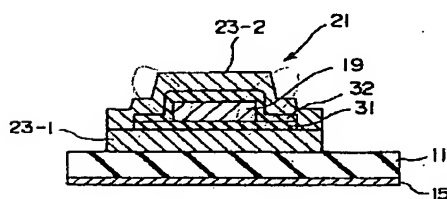
【図2】



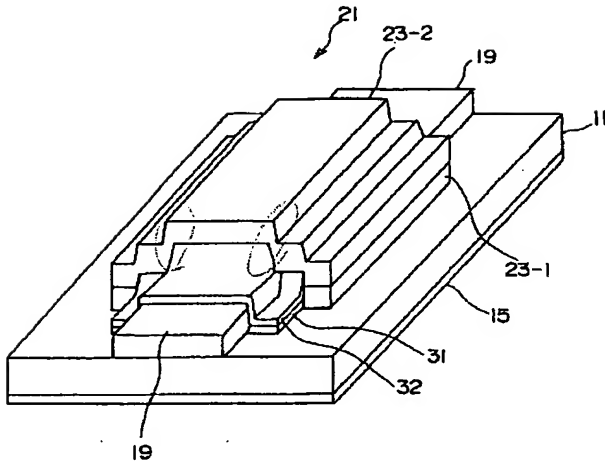
【図3】



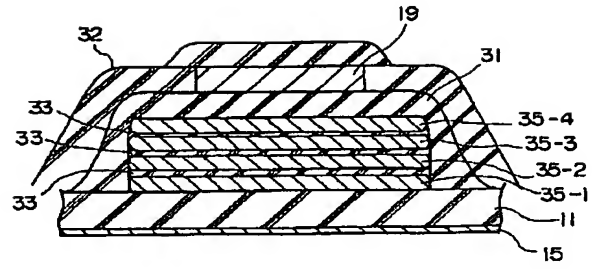
【図5】



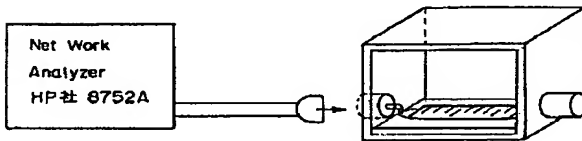
【図4】



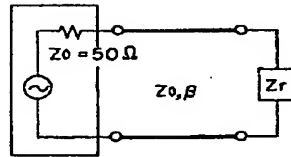
【図6】



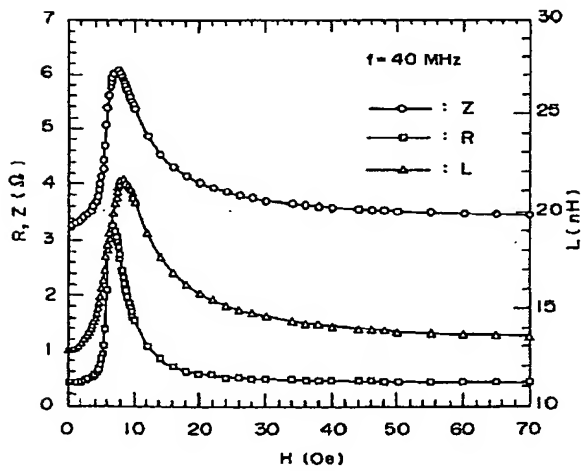
【図7】



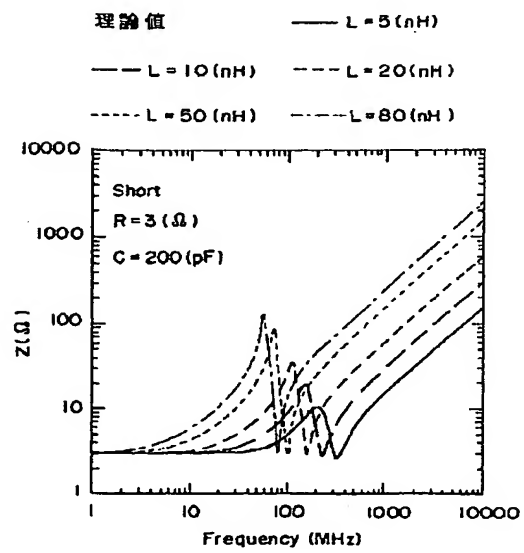
【図8】



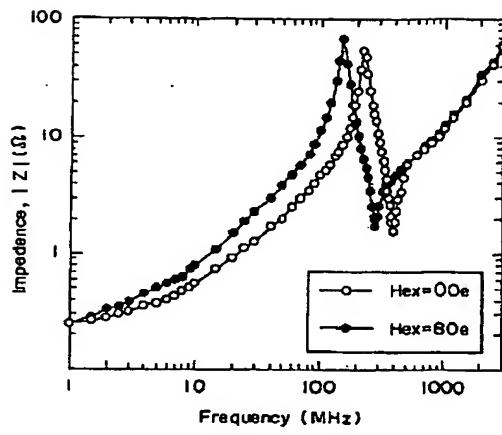
【図9】



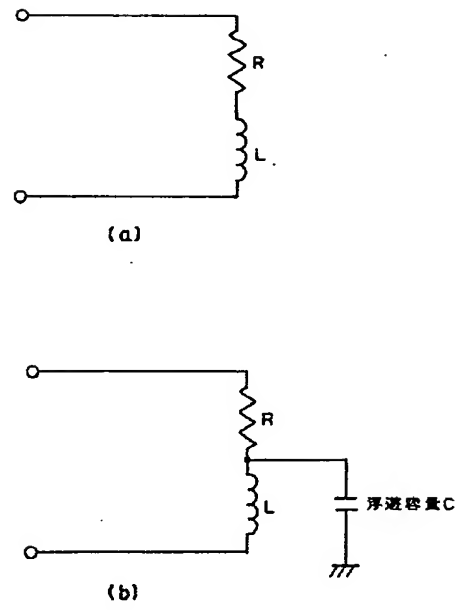
【図10】



【図11】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.